

УДК 621.4.002.2: 629.73.002.72

А.Ю. Невдаха, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Вплив неточностей заміру биття КП ланок ротора БДТ на похибку розрахунку оптимальних кутів взаємного розвороту ланок

Багатофакторним експериментом, з використанням 3D моделі типового ротора барабанно-дискового типу, досліджується вплив на похибку розрахунку оптимальних кутів повороту деталей ротора неточностей заміру биття його контрольних поверхонь. За результатами досліджень вироблені рекомендації із зменшення зазначеної похибки.

За допомогою натурної моделі ротора, в лабораторії КНТУ, визначається ефективність методу двох пробних складань по відношенню до методу довільної установки дисків.

ротор барабанно-дискового типу, складання ротора, биття контрольної поверхні

Вступ. Ротори барабанно-дискового типу (БДТ) широко використовуються в сільськогосподарських, дорожніх машинах, двигунобудуванні тощо. Найбільш перспективна технологія їх складання заснована на методі двох пробних складань [1-6]. У відповідності з нею ротор двічі пробно складається із певними взаємними розворотами ланок, після кожного складання заміряються биття контрольних поверхонь (КП) ланок, і за допомогою алгоритмів розраховуються оптимальні кути взаємного розвороту ланок, по яким ротор складається третій раз – остаточно.

В роботах [1-4] описуються типові процеси та алгоритми розрахунків методу двох пробних складань з заміром биття на поворотному складальному стапелі (ПСС) та на призмах. В роботах [9,10] описана апробація технології складання роторів БДТ за методом двох пробних складань із застосуванням 3D моделювання. В роботі [7] описано стенд для апробації типових процесів складання роторів БДТ за методом двох пробних складань з заміром биття на ПСС та на призмах.

Мета цієї роботи: багатофакторним 3D експериментом дослідити вплив неточностей заміру биття КП ланок на похибку розрахунку оптимальних кутів взаємного розвороту ланок; визначити комбінації факторів, при яких виникає найбільша похибка; розробити рекомендації щодо зменшення впливу цих факторів на зазначену похибку; з використанням натурної моделі ротора БДТ визначити ефективність методу двох пробних складань з заміром биття на ПСС та на призмах по відношенню до методу довільної установки дисків.

1. Визначення впливу неточностей заміру биття КП ланок ротора БДТ на похибку розрахунку оптимальних кутів з використанням 3D моделювання

Розрахунок оптимальних кутів залежить від геометричних розмірів ланок ротора, неточності виготовлення посадочних поверхонь ланок, неточності встановлення ніжки індикатора биття та інших факторів [4]. Похибка розрахунку, в основному, залежить від неточностей встановлення ніжки індикатора під час заміру биття КП. Дослідити вплив відповідних факторів на величини похибок з використанням натурального багатоланкового ротора важко через велику кількість ланок, велику кількість і вартість експериментів тощо. Тому була використана комп'ютерна 3D модель ротора, що моделює процеси встановлення наступної ланки на попередню

чи складання дволанкового ротора на ПСС. Зауважимо, що вона є керованою за всіма переліченими факторами. Виділено основні фактори, що впливають на розрахунок оптимальних кутів для такої моделі ротора:

- геометричні параметри (3 фактори);
- неточності виготовлення посадочних поверхонь (8 факторів);
- неточності встановленні ніжки індикатора (20 факторів).

Геометричні параметри - геометричні розміри ротора необхідні для визначення характеристик пар ротора що складається лише з двох ланок [1-5]:

$r_1^{(e)} = r_2^{(n)}$ - радіус верхньої (нижньої) посадочної поверхні ланки 1 (2);

r_2 - радіус, на якому вимірюються торцеві биття ланки 2;

H_2 - відстань від нижньої посадочної поверхні ланки 2 до її контрольної поверхні.

За *неточності виготовлення посадочних поверхонь* двох ланок відповідають вісім факторів:

$e_{1x}^{(e)}, e_{1y}^{(e)}, \delta_{1x}^{(e)}, \delta_{1y}^{(e)}$ - ексцентриситет і перекіс верхніх посадочних поверхонь ланки 1;

$e_{2x}^{(n)}, e_{2y}^{(n)}, \delta_{2x}^{(n)}, \delta_{2y}^{(n)}$ - ексцентриситет і перекіс нижніх посадочних поверхонь ланки 2.

Неточності встановленні ніжки індикатора (рис. 1) характеризують двадцять факторів:

- неточність встановлення ніжки індикатора по вертикалі (вище чи нижче від серединної лінії КП) при першому (x_1) та другому (x_3) пробних складаннях;
- неточність встановлення ніжки індикатора по радіусу (ближче чи далі від осі обертання відносно центральної лінії на КП) при першому (x_2) та другому (x_4) пробних складаннях;
- неточність встановлення ніжки індикатора по горизонталі (лівіше чи правіше від i -ї мітки на КП ланки) при першому ($y_i, /i = \overline{1,4}/$) та другому ($u_i, /i = \overline{1,4}/$) пробних складаннях (кожній i -ій мітці відповідає i -ий фактор групи факторів y чи u);
- неточність встановлення ніжки індикатора по горизонталі (лівіше чи правіше від i -ї мітки на КП ланки) при першому ($z_i, /i = \overline{1,4}/$) та другому ($v_i, /i = \overline{1,4}/$) пробних складаннях.

Можуть бути і інші фактори, що впливають на експеримент, наприклад: геометрична неточність виготовлення контрольних чи посадочних поверхонь (некруглість чи неплоскостність); неточність прив'язки КП до головних центральних осей інерції ланки тощо. Зауважимо, що у 3D моделі ротора цих факторів можна повністю позбутися. Тому надалі будемо вважати, що на експеримент впливає $20+8+3=31$ фактор:

$$x_i, y_i, z_i, u_i, v_i, /i = \overline{1,4}/, e_{1x}^{(e)}, e_{1y}^{(e)}, \delta_{1x}^{(e)}, \delta_{1y}^{(e)}, e_{2x}^{(n)}, e_{2y}^{(n)}, \delta_{2x}^{(n)}, \delta_{2y}^{(n)}, r_2^{(n)}, r_2, H_2.$$

Після двох пробних складань і замірів биття розраховується оптимальний кут повороту φ ланки 2 відносно ланки 1 за певними алгоритмами [1-5], отже:

$$\varphi = f(x_i, y_i, z_i, u_i, v_i, e_{1x}^{(e)}, e_{1y}^{(e)}, \delta_{1x}^{(e)}, \delta_{1y}^{(e)}, e_{2x}^{(n)}, e_{2y}^{(n)}, \delta_{2x}^{(n)}, \delta_{2y}^{(n)}, r_2^{(n)}, r_2, H_2). \quad (1)$$

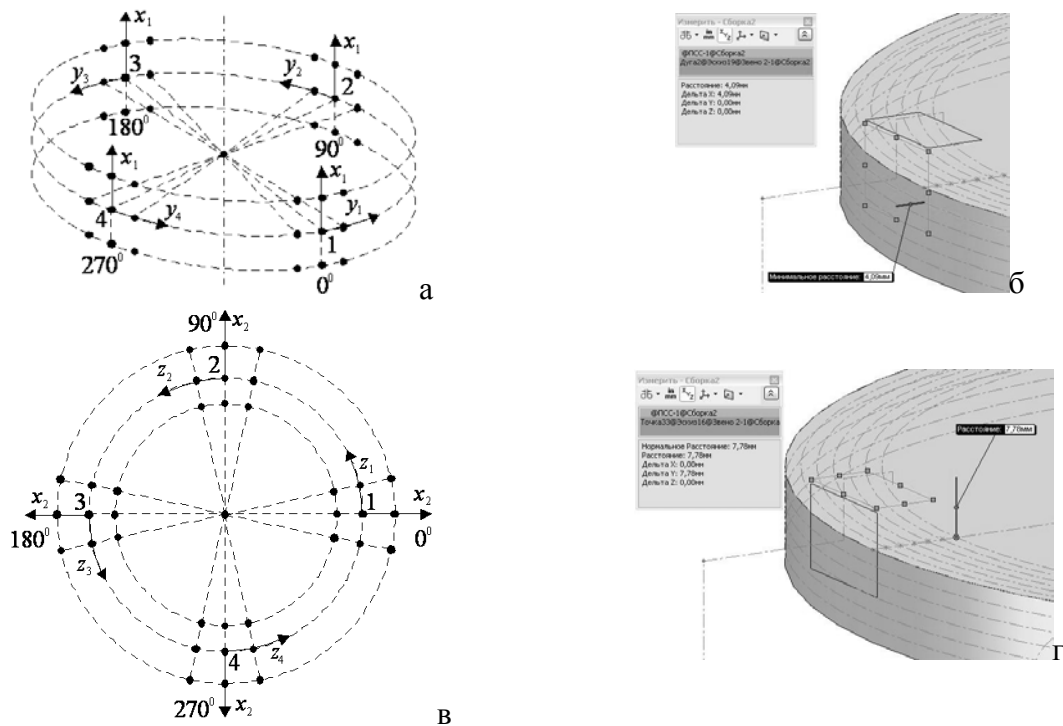
Дійсний оптимальний кут φ_{on} розраховується за формулою (1) за умови, що $x_i, y_i, z_i, u_i, v_i = 0, /i = \overline{1,4}/$. Отже

$$\varphi_{on} = f(0, \dots, 0, e_{1x}^{(e)}, e_{1y}^{(e)}, \delta_{1x}^{(e)}, \delta_{1y}^{(e)}, e_{2x}^{(n)}, e_{2y}^{(n)}, \delta_{2x}^{(n)}, \delta_{2y}^{(n)}, r_2^{(n)}, r_2, H_2), \quad (2)$$

тобто φ_{on} є функцією вигляду

$$\varphi_{on} = \varphi_{on}(e_{1x}^{(e)}, e_{1y}^{(e)}, \delta_{1x}^{(e)}, \delta_{1y}^{(e)}, e_{2x}^{(n)}, e_{2y}^{(n)}, \delta_{2x}^{(n)}, \delta_{2y}^{(n)}, r_2^{(n)}, r_2, H_2). \quad (3)$$

Під похибкою визначення кута φ_{on} будемо розуміти абсолютну похибку, тобто

$$\eta = \varphi - \varphi_{on} . \quad (4)$$


радіального а – теорія, б – моделювання в Solid Works;
торцевого в – теорія, г – моделювання в Solid Works

Рисунок 1 – Неточність встановлення ніжки індикатора при вимірюванні биття

Будемо визначати залежність похибки розрахунку оптимального кута φ_{on} від неточностей встановлення ніжки індикатора під час заміру биття КП ланок ротора. Така задача у теорії багатофакторного експерименту називається інтерполяційною [11-13]. Також визначимо яка комбінація значень факторів найбільше збільшує похибку η визначення оптимального кута φ_{on} . Така задача є екстремальною. Експеримент проводитиме для двох випадків, коли:

- існує лише один кут, що дозволяється призонними болтами, при якому биття КП ланок ротора відповідають заданим обмеженням;
- існує декілька кутів, що дозволяються призонними болтами, при яких биття КП ланок ротора відповідають заданим обмеженням.

Параметри $x_i, y_i, z_i, u_i, v_i, /i=\overline{1,4}/$ змінюються у межах декількох міліметрів. Вони значно менші за розміри ротора і значно більші за биття КП. Тому вважатимемо їх величинами першого порядку малості.

Основний (нульовий) рівень керуючих параметрів $x_i, y_i, z_i, u_i, v_i, /i=\overline{1,4}/$ відповідає серединній лінії КП. Нехай керуючі параметри приймають такі значення $x_i, y_i, z_i, u_i, v_i \in \{-h, 0, h\}, /i=\overline{1,4}/$, де h складає 6 міліметрів, або градусів (в залежності від групи факторів що досліджуються). В результаті керуючі параметри приймають значення: на границях $x_i, y_i, z_i, u_i, v_i = \pm h$; на основному рівні $x_i, y_i, z_i, u_i, v_i = 0 /i=\overline{1,4}/$. Значення x_i, y_i, z_i, u_i, v_i будуть змінюватися з кроком h . Таким чином, при

замірі биття після двох пробних складань існує $N = 3^{20}$ різних варіантів встановлення ніжки індикатора, де 3 – число рівнів, 20 – число керуючих факторів.

Шукатимемо функцію відгуку у лінійному вигляді (поліному першого степеня):

$$\eta = \sum_{i=1}^4 (a_i x_i + b_i y_i + c_i z_i + d_i u_i + e_i v_i), \quad (5)$$

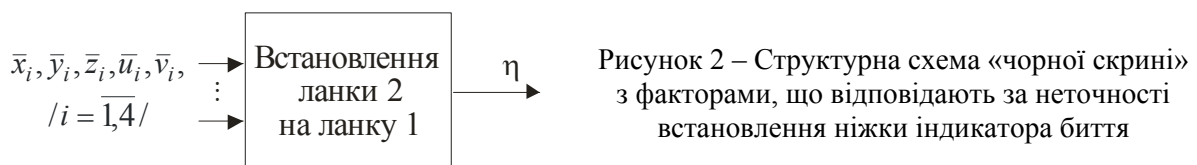
де $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, /i = \overline{1,4}/$ – невідомі константи, що підлягають визначенню за результатами багатофакторного експерименту.

Вибір лінійної моделі обґрунтовується тим, що в експериментах фактори $x_i, y_i, z_i, u_i, v_i, /i = \overline{1,4}/$ є величинами першого порядку малості. Апроксимація вигляду (5) одержується з функції (4) розкладанням у ряд Маклорена по $x_i, y_i, z_i, u_i, v_i, /i = \overline{1,4}/$ і відкиданням у цьому ряді складових вище першого порядку малості.

В подальших дослідженнях зручно ввести масштаб h для $x_i, y_i, z_i, u_i, v_i, /i = \overline{1,4}/$ і нові відповідні безрозмірні змінні $\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i, \bar{u}_i, \bar{v}_i, /i = \overline{1,4}/$, які змінюються у межах ± 1 :

$$\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i, \bar{u}_i, \bar{v}_i \in \{-1, 1\}$$

На рис. 2 зображена відповідна структурна схема «чорної скрині».



Кут ϕ і похибка η безрозмірні. Тоді функція регресії також безрозмірна і має вигляд

$$\eta = \sum_{i=1}^4 (\bar{a}_i \bar{x}_i + \bar{b}_i \bar{y}_i + \bar{c}_i \bar{z}_i + \bar{d}_i \bar{u}_i + \bar{e}_i \bar{v}_i), \quad (6)$$

де $\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i, \bar{d}_i, \bar{e}_i, /i = \overline{1,4}/$ – безрозмірні параметри, що є величинами першого порядку малості щодо безрозмірної 1.

При визначенні впливу на похибку η неточності встановлення ніжки індикатора по осі ротора чи по радіусу будемо вважати, що неточність встановлення ніжки індикатора викликана тільки тим, що при замірі радіального биття ніжка встановлена нижче чи вище серединної лінії КП, а при замірі торцевого биття ніжка встановлена ближче чи далі від подовжньої осі ротора до серединної лінії КП. Сам ротор абсолютно точно повертається на $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$. Тоді $\bar{x}_i \neq 0, /i = \overline{1,4}/$, а решта факторів дорівнює нулю і рівняння регресії приймає вигляд:

$$\eta = \sum_{i=1}^4 \bar{a}_i \bar{x}_i. \quad (7)$$

Аналогічний вигляд мають рівняння регресії для інших груп факторів.

Для визначення 4-х коефіцієнтів кожного фактора лінійної регресії з надлишком вистачить $2^4 = 16$ експериментів, де 2 – кількість рівнів значень параметрів фактора (ці значення 1 чи -1), 4 – кількість факторів, що приймаються до уваги.

Матриця планування 2^4 експерименту, та коефіцієнти регресії визначаються за формулами:

$$X^T = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\bar{a}_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} \eta_j}{N}, \quad \bar{b}_i = \frac{\sum_{j=1}^N y_{ij} \eta_j}{N}, \quad \bar{c}_i = \frac{\sum_{j=1}^N z_{ij} \eta_j}{N}, \quad \bar{d}_i = \frac{\sum_{j=1}^N u_{ij} \eta_j}{N}, \quad \bar{e}_i = \frac{\sum_{j=1}^N v_{ij} \eta_j}{N}, \quad /i = \overline{1,4}/, \quad (9)$$

де $N = 16$ – кількість експериментів;

- x_{ij} , y_{ij} , z_{ij} , u_{ij} , v_{ij} – коефіцієнти матриці планування, причому перший індекс i відповідає номеру фактора, а другий j – номеру експерименту;

T – знак транспонування.

В середовищі САПР SolidWorks створена 3D модель консольного ротора, з наступними параметрами:

- кількість ланок в роторі, $N_z = 2$;
- радіус, на якому заміряються торцеві биття КП, $R_z = 75$ мм;
- висота, на якій заміряються радіальні биття КП, $L_p = 22$ мм;
- крок повороту ланки $(k+1)$ відносно ланки k рівний $11,25^\circ$ ($N_p = 32$ – призонних болта), а точність визначення кута повороту $0,1^\circ$;
- точність заміру биття: $0,01$ мм.

В табл. 1 приведено биття КП 2-ї ланки 3D моделі ротора при ідеальній установці індикаторів після першого і другого пробних складань за умови існування лише одного кута, що дозволяється призонними болтами, при якому биття КП ланок ротора відповідають заданим обмеженням.

Таблиця 1 – Биття КП ротора на ПСС при ідеальній установці індикаторів, мм

Рівень фактора	Перше пробне складання				Друге пробне складання			
	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\delta 3$	$\delta 4$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\delta 3$	$\delta 4$
0	-0,493	-0,156	1,887	0,812	0,096	-0,765	-0,689	2,195

Дійсний оптимальний кут складає $\varphi_{on} = 277,2^\circ$.

Значення коефіцієнтів рівняння регресії, розрахованих за формулами (9):

$$\bar{a}_1 = 0,319; \quad \bar{a}_2 = 4,519; \quad \bar{a}_3 = -0,41; \quad \bar{a}_4 = -4,48;$$

$$\bar{b}_1 = 0,0188; \quad \bar{b}_2 = -0,056; \quad \bar{b}_3 = -0,019; \quad \bar{b}_4 = 0,0312;$$

$$\bar{c}_1 = 1,144; \quad \bar{c}_2 = -0,73; \quad \bar{c}_3 = 1,144; \quad \bar{c}_4 = -0,73;$$

$$\bar{d}_1 = 0,056; \quad \bar{d}_2 = -0,04; \quad \bar{d}_3 = -0,06; \quad \bar{d}_4 = 0,044;$$

$$\bar{e}_1 = 0,456; \quad \bar{e}_2 = -0,87; \quad \bar{e}_3 = 0,456; \quad \bar{e}_4 = -0,87.$$

В табл. 2. приведено биття КП 2-ї ланки 3D моделі ротора при ідеальній установці індикаторів після першого і другого пробного складання за умови існування декількох кутів, що дозволяються призонними болтами, при яких биття КП ланок ротора відповідають заданим обмеженням.

Таблиця 2 – Биття КП ротора на ПСС при ідеальній установці індикаторів, мм

Рівень фактора	Перше пробне складання				Друге пробне складання			
	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\delta 3$	$\delta 4$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\delta 3$	$\delta 4$
0	-0,493	-0,156	1,887	0,812	0,096	-0,765	-0,689	2,195

Дійсний оптимальний кут складає $\varphi_{оп} = 235,1^{\circ}$.

Значення коефіцієнтів рівняння регресії розрахованих за формулами (9):

$$\bar{a}_1 = -0,2; \quad \bar{a}_2 = -3,75; \quad \bar{a}_3 = 0,312; \quad \bar{a}_4 = 3,675;$$

$$\bar{b}_1 = 0,025; \quad \bar{b}_2 = -0,063; \quad \bar{b}_3 = -0,013; \quad \bar{b}_4 = 0,0125;$$

$$\bar{c}_1 = -0,12; \quad \bar{c}_2 = 0,031; \quad \bar{c}_3 = -0,031; \quad \bar{c}_4 = 0,031;$$

$$\bar{d}_1 = -0,06; \quad \bar{d}_2 = 0,219; \quad \bar{d}_3 = -0,06; \quad \bar{d}_4 = -0,22;$$

$$\bar{e}_1 = 0,256; \quad \bar{e}_2 = -0,19; \quad \bar{e}_3 = 0,256; \quad \bar{e}_4 = -0,19.$$

За результатами експериментів знайдені 20 коефіцієнтів функції регресії (6) для двох випадків що досліджувались. Визначені комбінації факторів, при яких має місце найбільша абсолютна похибка розрахунку оптимального кута, занесені до таблиці 3. На рис. 3 зображено положення ніжки індикатора при цих комбінаціях.

Знайдена функція регресії завищує похибку визначення оптимального. Максимальна розбіжність значень розрахованої похибки (6) від абсолютної (4) складає:

$$\Delta\eta = \frac{\eta_{розр} - \eta_{факт}}{\eta_{розр}} \cdot 100\% = \frac{-10,9 + 8,9}{-10,9} \cdot 100\% \approx 18\%.$$

Величина похибки визначення оптимального кута не перевищує 10° . Для ротора що має 32 призонні болти, крок встановлення ланки $(k+1)$ на ланку k складає $11,25^{\circ}$. Відповідно така похибка є не суттєвою і не може впливати на результати розрахунку оптимального кута.

Таблиця 3 – Комбінації значень факторів, при яких має місце найбільша абсолютна похибка розрахунку оптимального кута

№ випадку	Значення факторів $x_1, x_2, x_3, x_4;$ $y_1, y_2, y_3, y_4;$ $z_1, z_2, z_3, z_4;$ $u_1, u_2, u_3, u_4;$ v_1, v_2, v_3, v_4	Биття КП ланок ротора, мм								Розрахований оптимальний кут $\varphi, ^\circ$	Цільова функція	
		При першому пробному складанні				При другому пробному складанні					$\eta_{\text{факт}}$	$\eta_{\text{розр}}$
		$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\delta 3$	$\delta 4$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\delta 3$	$\delta 4$			
1	$++--;$ $++-+;$ $+ - + -;$ $+ - ++;$ $- + - +$	-0,642	-0,221	1,936	0,658	0,041	-0,648	-0,419	1,943	268,3	-8,9	-10,9
2	$++--;$ $++-+;$ $+ - + -;$ $+ - ++;$ $- + - +$	-0,421	0,021	1,342	-0,189	-0,082	-0,056	0,016	0,584	225,9	-9,2	-9,6

Для зменшення похибки рекомендується: використовувати індикаторні стійки; наносити на КП ланок шкали кутів повороту; використовувати поворотний складальний штапель із шкалою повороту з ціною поділки в 1° .

2. Визначення ефективності методу двох пробних складань натурним експериментом

Досліджувалась ефективність методу двох пробних складань з заміром биття КП на ПСС та на призмах по відношенню до методу довільної установки дисків з застосуванням натурної моделі ротора БДТ в лабораторії КНТУ.

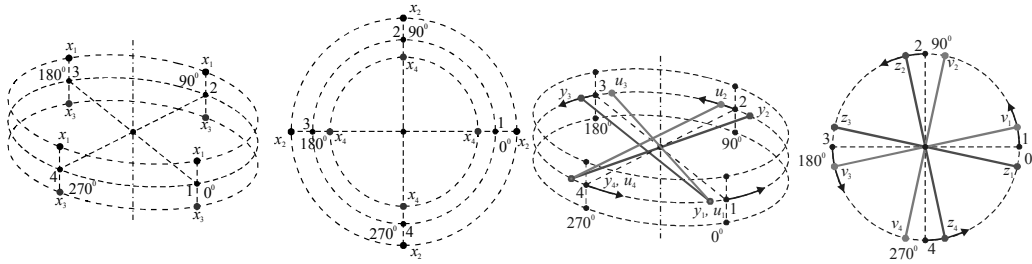


Рисунок 3 – Комбінації факторів, при яких має місце найбільша абсолютна похибка

Дослідження проводились на трьох різних роторах, що утворюють 15 роторних комплектів (описані в роботі [7]). Кожен комплект досліджувався як консольний (з заміром биття КП на ПСС) і як двоопорний (з заміром биття КП на призмах).

В рамках експерименту:

1. Ротор перший раз складався на монтажному столі з довільним взаємним розворотом ланок, це – складання ротора за методом довільної установки дисків.
2. Замірялися досягнуті биття КП ланок ротора спочатку на ПСС, а потім на призмах.
3. Розраховувався функціонал якості першого пробного складання.
4. Згідно з ОСТ 1.41672-77 наносилась розмітка на ланки ротора.
5. Ротор пробно складався другий раз.
6. Дані про тип ротора, вид складання та досягнуті биття заносились до програми на ПЕОМ [5]. Розраховувалися оптимальні кути поворотів ланок.
7. Ротор складався 3-й раз – остаточно з оптимальним взаємним розворотом ланок.
8. Замірялися досягнуті биття при оптимальному складанні.
9. Розраховувався функціонал якості оптимального складання ротора.
10. Розраховувалась ефективність за формулою:

$$\Delta Q = Q_{\text{овд}} / Q_{2\text{нс}} ,$$

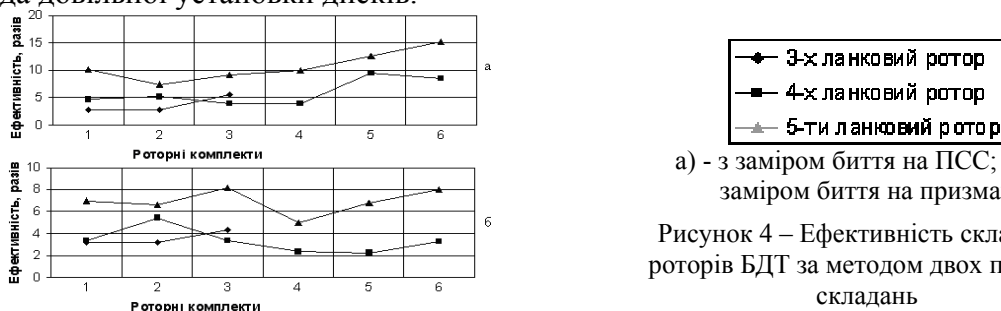
де $Q_{\text{овд}}$ – функціонал якості ротора складеного за методом довільної установки дисків;

$Q_{2\text{нс}}$ – функціонал якості ротора складеного за методом двох пробних складань.

Зауважимо, що перших 3 пункти експерименту відповідають складанню ротора методом довільної установки дисків.

В таблиці 4 приведено функціонали якості першого та оптимального пробних складань при замірі биття КП на ПСС та на призмах натурних моделей роторів БДТ що складаються з трьох, чотирьох та п'яти ланок.

На рисунку 4 приведено графіки ефективності складання роторів БДТ за методом двох пробних складань замірі биття КП на ПСС та на призмах по відношенню до метода довільної установки дисків.



а) - з заміром биття на ПСС; б) - з заміром биття на призмах

Рисунок 4 – Ефективність складання роторів БДТ за методом двох пробних складань

Таблиця 4 – Ефективність методу двох пробних складань з заміром биття на ПСС та на призмах

Роторний комплект	Метод двох пробних складань з заміром биття на ПСС			Метод двох пробних складань з заміром биття на призмах		
	$Q_{дов}$	Q_{2nc}	ΔQ	$Q_{дов}$	Q_{2nc}	ΔQ
Ротор що складається з трьох ланок						
РК№11	3,51961	1,25661	2,8	3,08138	0,9349	3,2
РК№12	3,51961	1,25661	2,8	3,00232	0,92604	3,2
РК№13	4,95923	0,90164	5,5	1,84831	0,42456	4,3
Ротор що складається з чотирьох ланок						
РК№21	12,90168	2,71859	4,6	3,68636	1,02421	3,4
РК№22	13,51388	2,53144	5,2	6,46606	1,19204	5,4
РК№23	11,75844	2,93737	4	3,68178	1,08176	3,4
РК№24	7,10894	1,76107	4	3,518	1,49327	2,3
РК№25	9,65708	1,02029	9,5	3,1312	1,41062	2,2
РК№26	9,39708	1,12343	8,4	3,98165	1,19256	3,3
Ротор що складається з п'яти ланок						
РК№31	17,84395	1,74539	10,2	11,6576	1,66251	7
РК№32	16,08908	2,14257	7,5	13,11416	1,96972	6,6
РК№33	21,03679	2,291035	9,2	11,39824	1,36929	8,2
РК№34	19,61597	1,93738	10	11,49628	2,30366	5
РК№35	17,34457	1,38086	12,6	10,083	1,47524	6,8
РК№36	25,53219	1,67636	15,2	11,69178	1,47201	8

Висновки. Виділено основні фактори (параметри), що впливають на розрахунок оптимальних кутів взаємного розвороту ланок ротора методом двох пробних складань.

Визначена комбінація значень факторів, при яких має місце найбільша абсолютна похибка розрахунку оптимального кута. Встановлено, що знайдена функція регресії завищує похибку визначення оптимального кута не більше, ніж на 18%, а величина похибки визначення оптимального кута не перевищує 10°. Така похибка не може впливати на результати розрахунку оптимальних кутів за методом двох пробних складань натурного ротора.

Для зменшення похибок визначення оптимальних кутів рекомендується: використовувати індикаторні стійки; наносити на КП ланок шкали кутів повороту; використовувати поворотний складальний штапель із шкалою повороту з ціною поділки в 1°.

Визначена ефективність методів двох пробних складань з заміром биття КП на ПСС та на призмах в реальних умовах.

Експериментально встановлено, що биття КП ротора складеного за методом двох пробних складань з заміром биття на ПСС до 15 разів, а на призмах до 8 разів менші, ніж у ротора складеного за методом довільної установки дисків.

Список літератури

1. СОУ-Н МПП 49.050-074:2006. Складання роторів газотурбінних двигунів барабанно-дислової конструкції методом двох пробних зборок / Е.В.Кондратюк, В.А.Тітов, Г.Б.Філімоніхін // Настанова Міністерства промислової політики України, 2006. – 32 с.
2. Патент № 33372 Україна. Спосіб складання ротора газотурбінного двигуна / Кондратюк Е.В., Пейчев Г.І., Тітов В.А., Тривайло М.С. Філімоніхін Г.Б. – опубл. 25.06.2008, бюлетень № 12.
3. Тітов В.А. Забезпечення ресурсу та експлуатаційної надійності виробів машинобудування технологічними методами - науковий напрямок кафедри МПМ та РП НТУУ «КПІ» / В.А.Тітов //

- Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2010. № 60. – С. 25-32.
4. Кравченко И.Ф. Сборка роторов ГТД барабанно-дискового типа: типовые процессы, алгоритмы расчетов: Монография / И.Ф.Кравченко, Э.В.Кондратюк, В.А.Титов, Г.Б.Филимонихин, Г.И.Пейчев, А.Я.Качан. – Киев: КВИЦ, 2011. – 197 с.
 5. Філімоніхін Г.Б. Складання двоопорних роторів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних складань / Г.Б.Філімоніхін, А.Ю.Невдаха // 9й міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові. Тези доповідей. Національний університет "Львівська політехніка", Львів. - 2009. –С 73-74.
 6. Філімоніхін Г.Б. Складання двоопорних роторів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних складань з заміром биттів на призмах / Г.Б.Філімоніхін, А.Ю.Невдаха // Збірник наукових праць КНТУ, 2009, Вип. 22. – С. 206–210.
 7. Філімоніхін Г.Б. Стенд для дослідження процесу складання роторів барабанно-дискової конструкції / Г.Б.Філімоніхін, А.Ю.Невдаха //Збірник наукових праць КНТУ, 2010, вип. 22. – С. 206–210.
 8. Філімоніхін Г.Б. Технологія складання роторів барабанно-дискового типу методом двох пробних складань із заміром биття на призмах / Г.Б.Філімоніхін, А.Ю.Невдаха // Друга міжнародна наукова конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "Інженерна механіка та транспорт 2011". Тези доповідей. Національний університет "Львівська політехніка", Львів. – 2011. – С. 83-84.
 9. Філімоніхін Г.Б. Використання 3D моделі ротора барабанно-дискового типа для апробації технології складання роторів ГТД методом двох пробних складань / Г.Б.Філімоніхін, А.Ю.Невдаха // Сьома міжнародна науково-практична конференція "Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2012". Тези доповідей. Чернігів-Жукин. -2012. – С.152 – 155.
 10. Філімоніхін Г.Б. Апробації технології складання роторів ГТД БДТ за методом двох пробних складань із застосуванням 3D моделювання / Г.Б.Філімоніхін, А.Ю.Невдаха // Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Збірник наукових праць., 2012, №34. – С. 34 – 41.
 11. Налимов В.В. Теория эксперимента // Физико-математическая библиотека инженера: М.: Наука, 1971. – 208 с.
 12. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента // Металургия, 1968. – 155 с.
 13. Ермаков С.М. Математическая теория планирования эксперимента / Ермаков С.М., Бродский В.З., Жиглявский А.А., и др. – М.: Наука, 1983. – 392 с.

А. Невдаха

Определение влияния неточности замера биений КР звеньев ротора БДТ на расчет оптимальных углов относительного поворота звеньев и эффективности метода двух пробных сборок

Многофакторным экспериментом, с использованием 3D модели ротора смешанного типа, исследуется влияние на погрешность определения оптимальных углов поворота деталей ротора неточностей измерения биений его контрольных поверхностей. За результатами исследований разработаны рекомендации по уменьшению указанной погрешности.

При помощи натурной модели ротора определяется эффективность метода двух пробных сборок по отношению к способу произвольной установки дисков.

А. Nevdakha

Determination of influencing of inaccuracy of measuring of beating of KP links of rotor of BDT on computation of optimum corners of relative turn of links and efficiency of method of two trial assembling

Impact on the accuracy of determining the optimal angles of rotation of the rotor's parts, metering the inaccuracies beating of its control surfaces investigated by using a multifactor experiment with a 3D model of the rotor. According to the research develops recommendations to reduce the specified error.

At the help of model of rotor is determined efficiency of method of two trial assembling in relation to the method of the arbitrary setting of disks.

Одержано 24.10.12